

PNL S/ABS HUS'G L/R 제품개발을 위한 성형해석

정 동 원* · 고 형 훈** · 문 원 섭***

Forming Analysis for PNL S/ABS HUS'G L/R Product development

Dong-Won Jung* · Hyung-Hoon Ko** · Won-Seob Moon**

ABSTRACT

The characteristic of sheet metal process is the few loss of material during process, the short processing time and the excellent price and strength. FEA applications with the sheet metal forming process is purpose that increasing due to the potential of time and cost saving. This study are industrial field problem solve using AutoForm which used a Static implicit way. According to this study, the results of simulation will give industrial site good information to access the Design sheet metal forming.

Key Words : static implicit finite element method, single action press, AutoForm software, sheet metal forming process

1. 서 론

박판 성형은 가공 중 소재의 손실이 적고 가공 시간이 짧으며, 무게에 비해 강도가 높고 표면 특성이 우수한 장점으로 자동차 산업 및 항공, 전자 부품에서부터 주방용품 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 이러한 박판 성형은 드로잉, 스트레칭, 굽힘 등의 조합으로 구성된 복잡한 변형 모드를 포함하고 있을 뿐

아니라, 재료 자체의 성형성(formability)과 이방성(anisotropy) 등의 기계적 성질과 두께의 불 균일 윤풀 상태, 성형 속도 등이 그 변수로 작용하기 때문에 성형 공정 중 물리적 현상을 정량적으로 파악하기는 매우 어려워 산업현장에서는 박판 성형 과정 중 파단 및 주름 발생에 대해 신뢰성 있고 경제적인 해석 방법이 요구되고 있다.

일반적으로 박판성형 공정은 준정적(quasi-static) 과정으로서 공구나 재료의 관성효과는 무시할 수 있는데, 이를 시뮬레이션 하기 위해서 세 가지 종류의 정적-내연적(static implicit), 정적-외연적(static explicit) 그리고 동적-외연적(dynamic explicit) 방법 등이 쓰인다.

세계적으로, LS-DYNA3D, PAM-STAMP, ABAQUS/Explicit, RADIOSS, 등의 외연적(explicit) 소프

* 제주대학교 기계·에너지·시스템공학부
Faculty of Mechanical, Energy and Mechatronics, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 대학원
Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

*** (주)Dieart
Dieart Co. LTD.

트웨어들이 활발히 쓰여지고 있는데, 이는 판재성형에 필수적으로 존재하는 접촉문제를 비교적 수월히 해결하며, 대형, 복잡한 문제를 비교적 단시간 내에 풀 수 있기 때문이다. 내연적(Implicit) 소프트웨어로서 유럽의 일부 자동차회사에서 쓰여 지는 것으로 스위스의 Kubli교수가 개발한 Autoform이 있는데 내연적 방법임에도 불구하고 굽힘을 고려하는 박막요소와 적응자동요소생성(adaptive automatic mesh generation) 기술을 첨가하여 상당히 정확히 단시간 내에 해석할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이번 연구에서 사용한 상용소프트웨어인 오토폼(AutoForm)은 이 정적-내연적 알고리즘을 적용한 소프트웨어이다.

압력 프레스 방식엔 단동램을 가압기구에 채용하고 있기 때문에 램 및 가동반은 상승만 유압으로서 작동하는 단동 프레스(single action press)와 복동 램 또는 단동 램에 사이드 실린더를 병용하는 가압기구를 채용하여, 램 및 가동 반의 상승만이 아니라 하강에도 유압을 걸 수 있는 복동 프레스(double action press)가 있다. 이중 단동식은 슬라이드가 하나인 일반 가공용으로 만들어진 프레스로써 산업현장에서 가장 많이 사용 프레스이다. 단동 프레스는 생산속도가 매우 늦지만 가속도의 조절, 가압력의 조절, 일정한 가압력의 지속 등을 용이하게 행할 수 있으며 기계의 부하 발생시에 절대로 가부하가 발생하지 않는다는 장점을 가지고 있는 방식이다.

본 연구에서는 프레스급형 성형해석 시스템인 Autoform 프로그램을 사용하여 단동 프레스에 의한 대형 판넬의 스템핑 공정에서의 성형상태를 유한요소 해석 해 보았다.

II. 본 론

Fig. 1과 같이 3차원 공간에서의 물체 변형에서 초기 시간 t_0 에서 $t_0 + \Delta t$ 까지의 변형을 해석할 때, 박판 표면의 질점좌표계(convected coordinates)는 θ^1 과 θ^2 축으로 나타내고 θ^3 축은 박판표면에 법선방향으로 주어진다.

$$E_\alpha = \frac{\partial X}{\partial \theta^\alpha} \quad , \quad e_\alpha = \frac{\partial x}{\partial \theta^\alpha} \quad (1)$$

$$G_{\alpha\beta} = E_\alpha \cdot E_\beta \quad , \quad g^{\alpha\beta} = e_\alpha \cdot e_\beta \quad (2)$$

$$E^{\alpha\beta} = G^{\alpha\beta} E_\beta \quad , \quad e^\alpha = g^{\alpha\beta} e_\beta \quad (3)$$

- $G_{\alpha\beta}$: 변형 전 형상의 행렬텐서
- $g_{\alpha\beta}$: 변형 후 형상의 행렬텐서
- E_α : 변형 전 형상의 기본벡터
- e_α : 변형된 물체의 기본벡터
- $G^{\alpha\beta}, g^{\alpha\beta}, E^\alpha, e^\alpha$: 역행렬

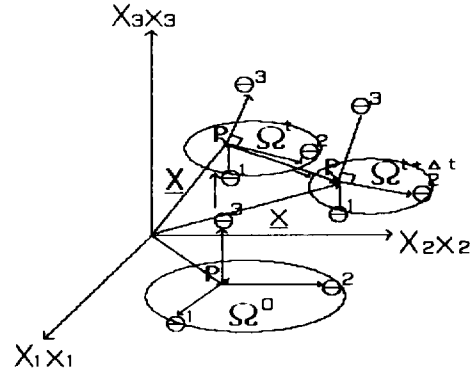


Fig. 1 Polar coordinates system of transformation process

$$u = u^\alpha E_\alpha = u_\alpha E^\alpha = u_i E^i \quad (4)$$

(u : 변형전 형상에서 변위벡터)

여기에서 $u = G^{\alpha\beta} u_\beta$ 이며, 그리스 지수는 질점 좌표계를, 라틴 지수는 직교 카티션 좌표계(rectangular cartesian coordinates)로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_{\alpha\beta} E^\alpha E^\beta = \epsilon^{\alpha\beta} E_\alpha E_\beta \quad (5)$$

$$\epsilon_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (g_{\alpha\beta} - G_{\alpha\beta}) = \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha} + u_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta}) = \frac{1}{2} (u_{\alpha\beta} + u_{\beta\alpha} + u_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \quad (6)$$

ϵ : 질점좌표계에서 라그랑지안 변형율텐서 (Lagrangian strain tensor)

' : 변형되지 않은 행렬에 관한 공변미분

(covariant differentiation)

라그랑지언 응력텐서를 선형부와 비선형부로 나누면

$$\epsilon_{\alpha\beta} = e_{\alpha\beta} + \eta_{\alpha\beta} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있으며,

$$e_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha}),$$

$$\eta_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \gamma_{\gamma\alpha} u_{\gamma,\beta}$$

대변형(large deformation)을 고려한 개정 라그랑지언 방정식(updated Lagrangian equation)은 아래식과 같이 나타낼 수 있고

$$\begin{aligned} & \int_{V^0} \Delta S^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV + \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} u^k_{,\alpha} \delta u^k_{,\beta} dV \\ &= \int_{S_t} t_1^{(t_0 + \Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \quad (8) \end{aligned}$$

이때, 구성방정식이 2차 Piola-Kirchhoff 응력증분과 Lagrangian 변형율과의 관계식으로 주어졌다면,

$$\Delta S^{\alpha\beta} = L^{\alpha\beta\gamma\rho} e_{\gamma\rho} \quad (9)$$

로 나타낼 수 있으며, 자세한 유도과정과 설명은 참고문헌에 기록된 기존의 논문[4]에 자세하게 수록되어 있다. 여기서, $L^{\alpha\beta\gamma\rho}$ 은 Hill의 이방성 항복함수(anisotropic yield function)를 만족하는 정상 상태이고 일관성을 유지하는 구성텐서의 성분이다.[5,6] 위의 (8)과 (9)식을 결합하여 정리하면 탄소성 재료에 대한 다음과 같은 최종적인 개정 라그랑지언 방정식을 얻을 수가 있다.

$$\begin{aligned} & \int_{V^0} L^{\alpha\beta\gamma\rho} e_{\alpha\beta} \delta e_{\gamma\rho} dV + \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\alpha} \cdot \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\beta} dV \\ &= \int_{S_t} t_1^{(t_0 + \Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \quad (10) \end{aligned}$$

2차 Piola-Kirchhoff 응력텐서의 성분은 질점 좌표계

에서의 Korchhoff 응력텐서 성분과 같아 응력 적분 과정이 질점좌표계로 변형을 묘사하였을 때 다른 좌표계와 비교해서 매우 간단하다는 것을 알 수 있다. 여기서, 변위증분(displacement increment)들의 근사값은 (10)식을 사용하여 계산되고 $t_0 + \Delta t$ 시간에 상응하는 응력성분은 (9)식을 사용하여 구할 수 있다.

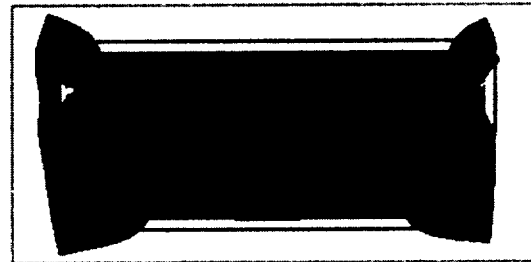
$$(S^{\alpha\beta})^{(t_0 + \Delta t)} = (S^{\alpha\beta})^{t_0} + \Delta S^{\alpha\beta} \quad (11)$$

$$(\tau^{\alpha\beta})^{(t_0 + \Delta t)} = (S^{\alpha\beta})^{(t_0 + \Delta t)} \quad (12)$$

또한 변형하는 물체가 금속일 경우 일반적으로 비압축성이라고 가정하여도 무방하므로 Kirchhoff 응력텐서 τ 는 Cauchy 응력텐서 σ 와 같다고 놓을 수 있다.[7]

III. 성형결과 해석

산업체에서 많이 사용되고 있는 범용 박판성형해석용 소프트웨어인 오토폼 소프트웨어를 사용하여 3차원적으로 성형 해석하였다.



Material	: SPEN
Thickness	: 1.0 T
Cushion Stroke	: 120 mm
Cushion 입력	: 70 ton
Blank Size	: 1040 mm X 525 mm
Draw Bead	: 약한 원형 Bead

Fig. 2 Input condition

Fig 2에서 보는 바와 같이 성형해석에 사용된 재료는 SPEN이며 두께는 1.0t, 쿠션 스트로크는 120mm, 쿠션압력은 70ton이며, 블랭크 사이즈(blank

size)는 1040mm × 525mm이고, 드로우비드(draw bead)는 약한 원형 비드이다.

해석방법은 single action press에 의한 스텝핑 공 정으로 가정하고 성형해석을 수행하였다.

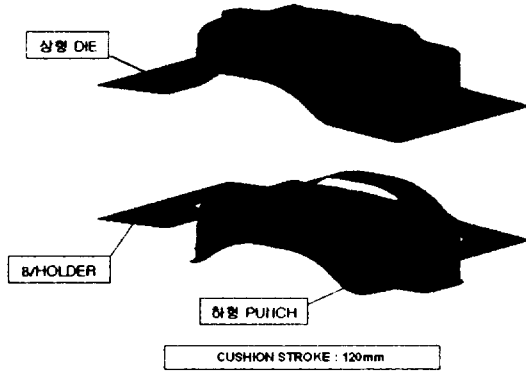
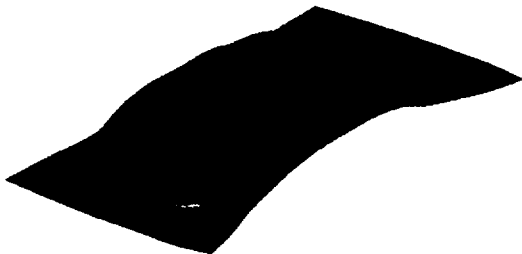
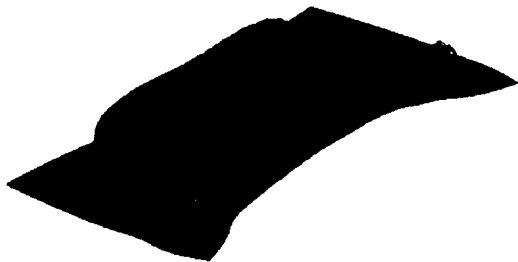


Fig. 3 Tool Setting

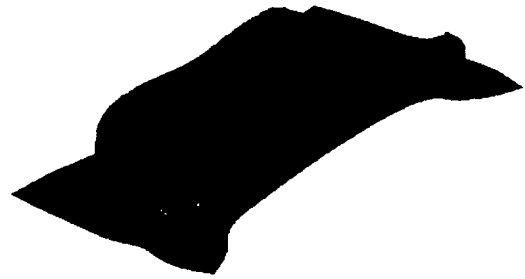
Fig. 3은 툴 세팅 상태로 쿠션스트로크 120mm점에 서의 바인딩(binding) 상태를 보여주고 있다.



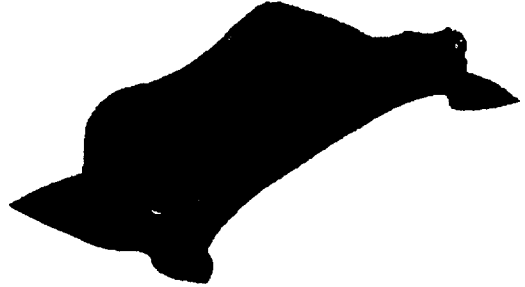
(a) Before lower post point 100mm



(b) Before lower post point 70mm



(c) Before lower post point 50mm



(d) Before lower post point 10mm



(e) Forming end status

Fig. 4 The Deformed shape and thinning distribution of each punch stroke

Fig. 4는 각 단계별 성형 해석 결과 그림으로 오토 폼 소프트웨어를 사용하여 펀치행정(stroke)별 성형 과정을 하사점 100mm 전, 하사점 70mm 전, 하사점 50mm전, 하사점 10mm전, 성형완료단계로 1차에서 5 차로까지 나누어 3차원 성형해석을 수행하였다.

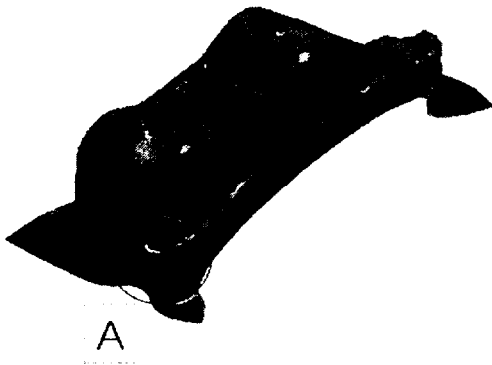


Fig. 5 Formation analysis result

Fig. 5의 A 구간은 두께감소율이 20%를 넘는 구간으로 바인딩 후 하사점 90mm 전부터 파단이 발생한 구간이다.



Fig. 6 The thinning distribution of final stroke

Fig. 6은 최종 성형 결과 중 두께감소율로, 적색원안의 적색과 연두색 구간은 향후 크랙(crack) 발생이 예상되는 구간이다. 이 구간의 파단발생에 대한 대책으로는 펀치 R크기 확대의 방법이 있다.

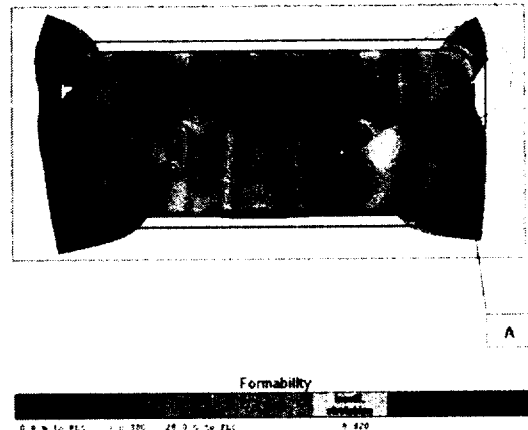


Fig. 7 Formation analysis result
- Wrinkles tendency

Fig. 7은 최종 성형 결과 중 주름경향이다. rear측 side 부분과 front측 side 부분에 주름이 발생하고 있으며, 이러한 주름은 재료의 유입이 많아지면서 전반적으로 스트레칭(stretching) 상태가 불량하게 되어 제품내부에 주름 영역으로 나타나게 된다. 제품의 주름문제는 스트레칭을 강화하는 방법들을 사용하여 보완할 수 있다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서 PNL S/ABS HUS'G L/R의 성형 공정을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 성형 해석 결과 R값이 작은 부위에서 국부적으로 파단 발생 및 파단 위험이 예측되었다.
2. rear와 front측 side부분에 주름이 발생하거나 주름 발생이 예측되었다.
3. 파단의 대책으로 성형결과 파단이 발생한 구역의 R크기를 확대하여야 하며, 전반적으로 재료의 유입이 많아지거나 스트레칭 상태가 좋지 않아 주름이 발생하는 구간에 대해 스트레칭을 강화하여야 한다.

이 연구의 성형 해석 결과와 그에 대한 평가를 토대로 박판 성형 공정과정에서 발생하는 다수의 문제들을 성형해석을 통해 해결해 볼 수 있게 되었으며, 이를 산업현장에 적용함으로써 시간과 비용의 절감에 많은 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- 1) 이재석, 1999, 가상실험기술, 충북대학교 건설기술 연구소, pp.4-5.
- 2) Jung, D. W., Yoo, D. J. and Yang, D. Y., 1995, A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes, *Engineering Computations*, vol.12, pp.707-722.
- 3) Mattiason, K., 1985, Numerical Simulation of Stretching Processes, SIMO P-I, Editor Lange. K., Proc. of the 1. Int. Workshop, Stuttgart, pp. 170-213.
- 4) Shim, H. B., Yang, D. Y., 1990, An Elastic-Plastic Finite Element Analysis on Hydrostatic Bulging of Rectangular Diaphragms by using Layered Degenerated Shell Element, *Int. J. Mech. SDI*, Vol. 32, pp.49-64.
- 5) Wang, N. M., Tang, S. C., 1988, Analysis of Bending Effects in Sheet Forming Operations, *Int. J. for Num. Mech. in Engng.*, vol.25, pp.253-367.
- 6) Yang, D. Y., Jung, D. W., Song, I. S., Yoo, D. J. and Lee, J. H., 1995, Comparative investigation into implicit, explicit and iterative implicit/explicit, schemes for the simulation of sheet-metal forming process, *J. Materials Processing Technology*, vol. 50, pp.39-53.
- 7) Dong-Won Jung, Jae-Sin Hwang and Hyun-Gil Ahn, 2004, A first study of developing stamping die of REF SILL OTR-R/L auto-body panel stamping processes, Reprinted from *Bulletin of the Marine and Environmental Research Institute* Vol.28 No. 1 Cheju National University Jeju, Korea. June.
- 8) D. W. Jung., D. J. Yoo., and D. Y. Yang., 1995, A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes, *Engineering Computations*, vol.12, pp.707-722.
- 9) 정동원, 안현길, 2005, 정적-내연적 유한요소법을 이용한 Tray판넬 해석에 관한 연구, *대한기계학회지*, 제4권 1호, pp.30-36.